

重大工程安全风险管理体系丛书 | 李启明 主编

地铁施工安全风险 自动识别与预警

陆莹·著



Automatic Safety Risk Identification and
Early-warning of Subway Construction



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

重大工程安全风险管理体系丛书 李启明 主编

地铁施工安全风险 自动识别与预警

陆 莹 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内 容 提 要

地铁施工因具有作业流动性大、地下作业多、施工周期长、劳动强度大等特点,经常会出现坍塌、物体打击、高处坠落等安全事故。传统安全管理虽然也强调超前管理、标本兼治,但仍存在对风险辨识不细致、风险控制措施不到位等问题。随着信息技术的发展,面对大量的地铁施工安全管理内容,仅依赖经验丰富的技术人员进行安全风险分析,已无法满足工作需要,传统的安全风险管理方式亟须改进和提高。本书主动将信息技术全面引入安全风险识别过程,将规范中的风险识别知识结构化,针对具体工程的施工信息,通过计算机自动识别风险状况;针对地铁坍塌事故的可监测前兆信息,建立地铁施工坍塌事故预警系统,实现基于监测数据的预警功能,为预防地铁施工安全事故奠定良好的理论基础。在地铁实际施工过程中,根据该系统自动识别、预警的结果,可采取积极的措施来预防地铁施工安全事故的发生,最大限度地保证地铁施工安全。

本书可供地铁施工安全风险相关研究人员和地铁施工从业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地铁施工安全风险自动识别与预警/陆莹著. —南京:
东南大学出版社, 2017. 9

(重大工程安全风险管理丛书/李启明主编)

ISBN 978-7-5641-7441-5

I. ①地… II. ①陆… III. ①地下铁道—工程施工
—安全管理—风险管理 IV. ①U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 231072 号

地铁施工安全风险自动识别与预警

著 者 陆 莹

责任编辑 丁 丁

编辑邮箱 d. d. 00@163. com

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼 2 号 邮编:210096

出 版 人 江建中

网 址 <http://www.seupress.com>

电子邮箱 press@seupress.com

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

版 次 2017 年 9 月第 1 版

印 次 2017 年 9 月第 1 次印刷

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 7. 5

字 数 183 千

书 号 ISBN 978-7-5641-7441-5

定 价 38.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

总 序

建筑业是我国国民经济的重要支柱产业和富民安民的基础产业。与其他安全风险较高的行业(例如航空业、石化工业、医疗行业等)相比,建筑工程事故的规模相对较小,但其发生频率相对较高,危险源类型具有多样性。工程安全一直是项目管理人员和相关研究人员关注的重点。虽然建筑工程事故率的不断下降表明工程安全管理水平正在逐步提升,然而频繁发生的工程伤亡事故还是说明工程安全问题尚未从根本上得到解决,与“零事故”(Zero Accident)或者“零伤害”(Zero Harm)的终极目标相去甚远。相关研究结果表明,建筑工程现场的工作人员受伤或者死亡的概率要远远大于其他行业。从事建筑工程的劳动力约占总数的 7%,但是其伤亡事故却占了总数的 30%~40%。高事故率是全球建筑工程面临的普遍问题,建筑工程人员工作的危险系数相对较高,其生存工作环境相对恶劣。研究发现,如今愿意从事建筑工程生产的年轻人越来越少,重要原因可以归结为建筑行业糟糕的工作环境和相对较高的事故率,使得年轻人对此行业望而却步。目前,建筑行业的老龄化现象愈发严重,作为劳动密集型的建筑行业如果老龄化趋势继续延续,整个建筑产业的萎缩将是必然的。因此,为了能够使建筑业持续稳定发展,改善其工作环境,提高工程安全管理绩效显得十分重要,这样才能吸引年轻人返回这个古老的行业,给建筑行业不断注入新的活力。

与传统建筑工程相比,重大工程(Megaproject)往往具有投资额度大、技术复杂度高、利益相关者多、全生命周期长等特征。随着重大工程的建设规模越来越大、建设内容越来越多,技术(前期策划、设计、施工、运行)难度越来越高、影响面也越来越广,既包括了质量、成本、进度、组织、安全、信息、环境、风险、沟通等内容,也涉及政治、经济、社会、历史、文化、军事等多个层面。近三十年,各种类型的重大工程如雨后春笋般,在世界各地持续开展,例如中国的三峡大坝工程、日本的福岛核电站灾害处理项目、阿联酋的马斯达尔城项目、尼加拉瓜的大运河工程、美国的肯珀电站项目等。保守估计,目前全球重大工程市场的年均生产总值大约为 6 万亿~9 万亿美元,约占全球 GDP 的 8%。重大工程的持续发展,不断突破工程极限、技术极限和人类操控极限,增加了其安全管理与安全实施的难度,重大工程的安全问题显得尤为突出。1986 年 4 月乌克兰切尔诺贝利核电厂第四号反应堆发生的大爆炸、2008 年 11 月中国杭州地铁 1 号线土石方坍塌事故、2011 年 7 月中国甬温线动车追尾事故等一系列重大安全事故,给国家、企业和人民造成了巨大损失,给重大工程发展抹上了无形的阴影。因此,研究如何保证重大工程安全,杜绝重大工程安全事故发生,具有重要的理论价值和现实意义。

与一般工程相比,重大工程安全管理对安全管理的理论与方法提出了新的挑战,原

有的理论与方法已经难以满足环境和系统复杂性带来的新问题对重大工程安全管理新理论与新方法的渴求,对传统的工程安全管理理论和方法进行反思和创新势在必行。本丛书总结了东南大学研究团队多年的研究成果,基于重大工程全生命周期的维度,从计划、设计、施工、运营、维护等方面对重大工程安全管理进行全面的阐释。研究重点从传统的施工阶段拓展到包括设计、运营的全生命周期阶段的安全风险管理;从传统安全风险管理内容深化到安全风险的预测和预警;从一般风险事件聚焦到国际重大工程的政治风险、重大工程的社会风险、PPP项目残值风险等特定风险。本丛书作者来自东南大学、南京航空航天大学、中国矿业大学、河海大学、北京科技大学等单位。作者李启明教授、吴伟巍副教授、陆莹副教授、周志鹏博士、王志如博士、邓勇亮博士、万欣博士,以及季闯博士、贾若愚博士、宋亮亮博士等长期从事重大工程安全管理的研究工作。由于本丛书涉及重大工程安全管理的多个方面,限于作者们的水平和经验,书中不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

李启明

2016年10月9日

前言

随着人口的不断增长,城市化进程的不断加快,大量人流涌入大城市,导致了大城市交通压力不断加大。“限行、分流、高架、立交”等措施已经不能满足日益增长的人流需求。为了解决城市交通堵塞问题,伦敦于1863年开通了世界上首条地下铁路系统——伦敦大都会铁路。1969年北京开通了我国第一条地铁线路。虽然地铁在我国起步较晚,但由于交通拥堵问题和城市人口不断增加,地铁在我国取得了快速发展,成为缓解城市交通压力的重要方法和途径。

中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通2016年度统计和分析报告》指出,截至2016年年底,中国大陆地区共30个城市开通运营城市轨道交通,共计133条线路,运营线路总长度达4152.8公里。其中,地铁3168.7公里,占76.3%;其他制式城轨交通运营线路长度984.1公里,占23.7%。截至2016年年底,共有58个城市的城轨线网规划获批(含地方政府批复的14个城市),规划线路总长达7305.3公里。在建、规划线路规模进一步扩大,投资额持续增长,建设速度稳健提升。地铁的兴建和开通,不仅提高了土地利用效率,也节省了土地资源,缓解了中心城市交通密度,同时让人车分流,疏导了交通,增加了城市绿地,扩充了基础设施容量,减少了污染,保持了城市历史文化景观,保护了城市生态环境。

虽然我国城市地铁建设取得了巨大的成就,但因地铁施工作业流动性大、地下作业多、施工周期长、劳动强度大等特点,经常会出现坍塌、水害、火灾、机械伤害、物体打击、爆炸、中毒、触电、高处坠落等施工安全事故。如2008年11月15日,杭州地铁湘湖站工地发生坍塌事故,导致21人死亡,24人受伤,这起事故成为中国地铁建设历史上最为惨重的一次事故;2009年1月11日,上海地铁11号线曹杨路站工地,施工电器线路短路导致火灾,造成1人死亡,数人受伤;2009年5月16日,广州地铁3号线北延段9标段工地,发生中毒事故,导致3名施工人员死亡;2010年9月7日,深圳地铁4号线腾龙路红山站,工人因雨天不慎触电,导致1人死亡;2011年4月4日,深圳地铁5号线上水径站,几名工人在将一台机器搬出地铁隧道时,发生物体打击事故,导致1人死亡,4人受伤;2013年5月6日,西安地铁3号线通化门至胡家庙区间,左北隧道开挖作业面突然出现暗挖隧道顶部塌方,导致5人死亡,1人受伤。

地铁施工安全事故对人民生命健康安全、社会经济和自然环境产生重大危害,导致了人员伤亡、经济损失、环境破坏等重大问题。国内外的研究人员和从业人员一直都在研究如何降低施工安全风险,减少施工现场安全事故的发生。经过长期的安全管理研究及实践发现,安全风险识别与预警是安全管理的重要环节,其目的就在于寻找工程的薄弱环节并建立有效措施,以避免将来的安全事故。传统安全风险管理的虽然也强调超前管理、标本兼治,但仍存在对风险辨识不细致、风险控制措施不到位等问题;同时,随着信息技术的发展,面对大量的地铁施工安全管理内容,仅依赖经验丰富的技术人员进行安全风险分析,已无法满足工作需要,传统的安全风险管理方式急需改进和提高。主动地将信息技术全面引入安全风险识别与预警过程,将专家经验、规范中的安全风险知识及现场监测数据结构化,针对具体工程

施工信息的输入,运用计算机软件自动识别安全风险并进行现场预警,实现风险管理的信息化与自动化,应是解决这一问题的新思路。

基于这些关键问题,本书将现有研究视角拓展和引申到地铁施工安全风险的前兆信息,提出从人一机—环境的角度分析前兆信息的方法,并确定以施工活动、工作任务、前兆信息为主体的地铁施工安全风险影响因素。从标准、规范中获取风险识别规则,基于规则推理方法设计风险自动识别推理机制和算法,实现施工安全风险的自动识别;针对地铁坍塌事故的可监测前兆信息,研究施工安全状态及预警等级,建立地铁施工坍塌事故预警系统,完成预警系统的总体设计、模块设计和数据库设计,实现基于监测数据的预警功能,为预防地铁施工安全事故奠定良好的理论基础。安全风险的自动识别与预警,一方面有利于优化设计阶段的安全管理,提醒安全管理部门尽早部署预防措施;另一方面可以提高施工阶段安全管理的水平,提醒安全管理部门对风险所在区域尽快采取有效措施。因此,从前兆信息出发,开展安全风险自动识别与预警方法的研究,对保障地铁施工现场的安全,具有重要的理论意义和广泛的应用价值。

本书是在课题组的研究成果上进一步完善而来的,硕士研究生焦海霞、阚洁在本书的完成过程中做了大量的研究工作,李启明教授、张星教授在本书的完成过程中一直给予关心并提供了重要的指导,在此一并表示深深的谢意!

在本书的写作过程中,参考了许多国内外相关专家学者的论文和著作,已在参考文献中列出,在此向他们表示感谢!对于可能遗漏的文献,在此也向作者表示歉意。

对地铁施工安全风险自动识别与预警研究是安全信息化的重要内容,如果广大学者和地铁施工安全工作者能在本书中得到启发,作者不胜荣幸。同时书中难免有错漏之处,敬请各位读者批评指正,不胜感激!

陆 莹

2017年5月于东南大学

目 录

1 基于前兆信息的地铁施工安全风险分析	1
1.1 地铁施工活动分析	1
1.1.1 工作分解结构(WBS)方法概述	1
1.1.2 基于 WBS 的地铁施工活动分解	1
1.1.3 基于 WBS 地铁盾构掘进法施工分解	4
1.2 地铁施工安全风险事件分析	9
1.2.1 地铁施工安全风险事件分类	9
1.2.2 事故致因理论	10
1.2.3 地铁施工安全事故原因分析	12
1.3 地铁施工安全风险前兆信息体系构建	13
1.3.1 前兆信息的概念	13
1.3.2 前兆信息在安全风险中的应用	14
1.3.3 前兆信息体系构建	14
2 基于本体的地铁施工安全风险知识库构建	24
2.1 本体的相关研究	24
2.1.1 本体的内涵	24
2.1.2 本体的分类	25
2.1.3 本体描述语言和建模工具	26
2.1.4 本体构建的方法与步骤	28
2.2 本体知识库构建	31
2.2.1 目标与需求	32
2.2.2 知识表示	34
2.2.3 类和类的结构关系定义	35
2.2.4 对象型属性定义	37
2.2.5 数据型属性定义	38
2.2.6 实例创建	40
3 基于规则推理的地铁施工安全风险自动识别系统研究	45
3.1 规则语言(SWRL)概述	45
3.1.1 SWRL 规则语言发展	45
3.1.2 SWRL 框架结构	45
3.1.3 SWRL 规则表达方式	46
3.1.4 SWRL 构建工具	46
3.2 规则语言(SWRL)构建	47
3.2.1 属性规则构建	47

3.2.2 实例规则构建	49
3.3 本体知识库的可视化与查询	52
3.3.1 知识库的可视化	52
3.3.2 知识库的查询	52
3.4 推理引擎(Jess)推理	54
3.4.1 推理引擎(Jess)概述	54
3.4.2 推理引擎(Jess)应用	55
4 基于监测数据的地铁施工安全风险预警方法研究	59
4.1 地铁施工坍塌事故可监测前兆信息分析	59
4.1.1 PaICFs 调查模型	59
4.1.2 利用 PaICFs 进行地铁坍塌事故前兆信息识别	59
4.1.3 基于勘察阶段的前兆信息分析	61
4.2 地铁坍塌事故前兆信息采集	61
4.2.1 位置类信息的采集	62
4.2.2 地质及环境类信息的采集	62
4.2.3 其他信息的采集	66
4.2.4 信息的第三方采集	66
4.3 地铁施工坍塌事故前兆信息预警机制	67
4.3.1 施工现场安全状态及预警等级	68
4.3.2 地铁坍塌事故单指标预警机制	68
4.3.3 地铁坍塌事故多指标预警机制	73
5 地铁施工安全风险预警系统的设计与实现	86
5.1 预警系统的设计	86
5.1.1 GIS 集成二次开发	86
5.1.2 系统开发运行环境及需求分析	86
5.1.3 预警系统总体设计及功能模块设计	87
5.2 预警系统数据库的设计	88
5.2.1 空间数据库的设计	89
5.2.2 属性数据库的设计	91
5.3 预警系统的实现——以南京某地铁车站基坑施工现场预警系统为例	93
5.3.1 南京某地铁车站基坑施工现场简介	93
5.3.2 南京某地铁车站施工现场预警系统总体设计	93
5.3.3 南京某地铁车站施工现场预警系统功能模块设计	94
6 结论	100
6.1 主要研究工作及其结论	100
6.2 研究不足及研究展望	101
附录	102
参考文献	103

1.1 地铁施工活动分析

1.1.1 工作分解结构(WBS)方法概述

时代的发展、工作的需求,现代项目越来越复杂、大型化,项目管理的难度也越来越大。为了便于管理,工作分解结构(WBS, Work Breakdown System)可以将项目按照系统的原理分解为可控的、适宜操作的工作单元。美国国防部国防系统开发工作的手册最早解释了WBS的定义:WBS是一个以产品为中心的层次体系,由硬件、软件、服务和资料组成^[1]。美国项目管理学会(PMI)在制定的项目管理知识体系指南(PMBOK)2000年版中^[2]定义WBS:面向项目可交付成果的项目元素,这些元素的组成构成了整体项目的工作范围。ISO 10006 国际标准中,WBS被定义为项目范围管理的工具,其目的是把项目工作分解为更小、更易操作的工作单元。WBS是为了完成项目目标而制定的全部工作或活动的集合,主要有层次结构、编码、工作包说明书这三个基本要素,WBS图是项目分解成果的具体表现^[3]。

WBS的分解方式具有多样性,江萍归纳了四种常用的施工项目结构分解方法:①按施工过程进行分解;②按平面或空间位置进行分解;③按功能进行分解;④按要素进行分解^[4]。吴志东归纳了七种主要的WBS分解方式:①按产品的物理结构进行分解;②按产品或项目的功能进行分解;③按实施过程进行分解;④按项目的地域分布进行分解;⑤按项目的各个目标进行分解;⑥按部门进行分解;⑦按职能进行分解^[5]。对于工程项目来说,应该根据项目的特点、项目情况和企业本身的习惯选择合适的分解方法,由于工程项目的复杂性,一般WBS分解需要综合使用几种方法进行项目工作结构分解。对现在大型项目进行WBS分解,各个层次的工作结构可能采用了不同的分解方法,甚至同一层次的工作结构也采用了不同的分解方法。

1.1.2 基于WBS的地铁施工活动分解

地铁施工是一个复杂的系统,地铁项目施工包括土建工程和机电设备安装工程。贾俊峰认为施工活动WBS分解应结合施工步骤、结构特点,按照单位工程、分部分项工程依次进行逐层分解^[6]。根据《地下铁道工程施工及验收规范标准》(GB 50299—1999)^[7]、2003年局部修订版^[8]和地铁项目施工特点、施工技术、方法和专业,对地铁土建工程施工进行工作结构分解,从而得到各个施工活动。

WBS 一级工作分解结构为:W1 明挖法施工,W2 盖挖逆筑法施工,W3 喷锚暗挖法施工,W4 盾构掘进法施工,W5 结构防水,W6 路基,W7 钢筋混凝土高架桥,W8 建筑装饰,W9 整体道床轨道。WBS 分解结果可用图 1-1 表示。

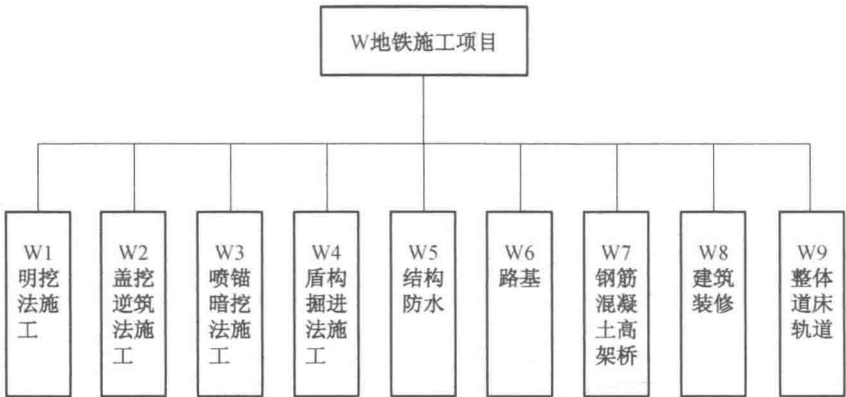


图 1-1 地铁施工活动 WBS 一级分解

W1 明挖法施工、W2 盖挖逆筑法施工、W3 喷锚暗挖法施工、W4 盾构掘进法施工、W5 结构防水等 WBS 一级分解结果比较宏观,根据研究需要对地铁施工进行二级分解。在 WBS 一级分解的基础上根据地铁施工特点、施工过程和《地下铁道工程施工及验收规范标准》(GB 50299—1999)、2003 年局部修订版对地铁施工进行二级分解。由于二级分解结果的复杂性,WBS 图表达比较复杂,用表 1-1 可以更为直观地表示地铁施工活动 WBS 二级分解结果。

表 1-1 地铁施工活动 WBS 二级分解

项目	施工活动一级分解	施工活动二级分解
W 地铁施工	W1 明挖法施工	W1.1 管线拆迁、改移和悬吊
		W1.2 基坑便桥
		W1.3 基坑开挖与回填
		W1.4 钢筋加工及安装
		W1.5 模板支立
		W1.6 混凝土灌注
		W1.7 结构外防水
		W1.8 工程验收
	W2 盖挖逆筑法施工	W2.1 围护墙及支承柱
		W2.2 土方开挖
		W2.3 隧道结构
		W2.4 工程验收

续 表

项目	施工活动一级分解	施工活动二级分解
W 地铁施工	W3 喷锚暗挖法施工	W3.1 竖井
		W3.2 地层超前支护及加固
		W3.3 光面与预裂爆破
		W3.4 隧道开挖
		W3.5 初期支护
		W3.6 防水层铺贴及二次衬砌
		W3.7 监控量测
		W3.8 隧道内运输
		W3.9 风、水、电临时设施及通风防尘
		W3.10 工程验收
	W4 盾构掘进法施工	W4.1 施工准备
		W4.2 竖井施工
		W4.3 盾构始发
		W4.4 盾构掘进
		W4.5 盾构到达
		W4.6 防排水
		W4.7 工程验收
	W5 结构防水	W5.1 防水混凝土
		W5.2 卷材防水层
		W5.3 涂膜防水层
		W5.4 特殊部位防水
		W5.5 工程验收
	W6 路基	W6.1 路堑
		W6.2 路堤
		W6.3 工程验收
	W7 钢筋混凝土高架桥	W7.1 桥基开挖
		W7.2 现浇钢筋混凝土结构
		W7.3 装配式钢筋混凝土构件
		W7.4 预应力混凝土结构
		W7.5 桥面系
		W7.6 工程验收

续 表

项目	施工活动一级分解	施工活动二级分解
W 地铁施工	W8 建筑装修	W8.1 吊顶
		W8.2 站厅(台)地面
		W8.3 站厅(台)钢管柱及钢筋混凝土柱饰面
		W8.4 站台电缆墙
		W8.5 不锈钢栏杆及楼梯扶手
		W8.6 工程验收
	W9 整体道床轨道	W9.1 器材准备、堆放和运输
		W9.2 基标设置
		W9.3 轨道架设与软枕或短轨(岔)枕安装
		W9.4 轨道位置调整
		W9.5 整体道床
		W9.6 混凝土预制构件制作
		W9.7 工程验收

1.1.3 基于 WBS 地铁盾构掘进法施工分解

1) 地铁盾构掘进法施工概述

地铁盾构掘进法施工可以追溯到 1818 年布律内尔发明盾构机,获得专利权。1825—1843 年盾构技术用于伦敦泰晤士河水底建设。从 20 世纪 80 年代开始,西方发达国家将盾构技术应用于地铁、排水隧道施工。近年来,我国开始将此技术应用于地铁、越江越海隧道、给排水隧道建设,代替原来开槽明挖或浅埋暗挖等劳动密集型施工方法^[9],盾构掘进机如图 1-2 所示。

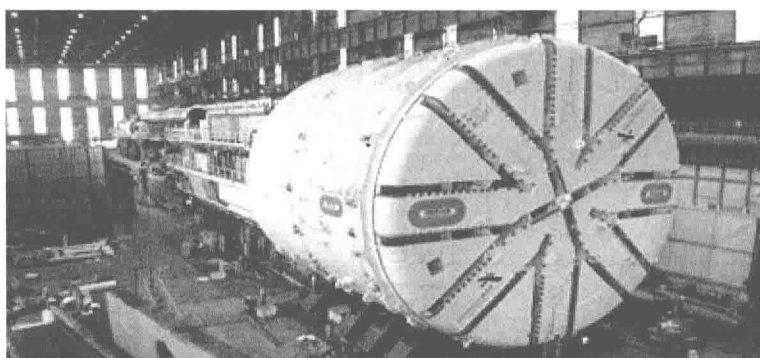


图 1-2 盾构掘进机

盾构法施工是地铁施工中一种重要的施工技术,通过盾构钢壳刚性支护保持开挖面稳定,利用盾构机前方刀盘开挖掘进,在盾构机尾部进行管片拼装形成初砌墙,实施壁后注浆

使围岩基础稳定,用千斤顶顶住已拼装好的初砌并利用其反力推进盾构前进^[10],盾构施工流程如图 1-3 所示。

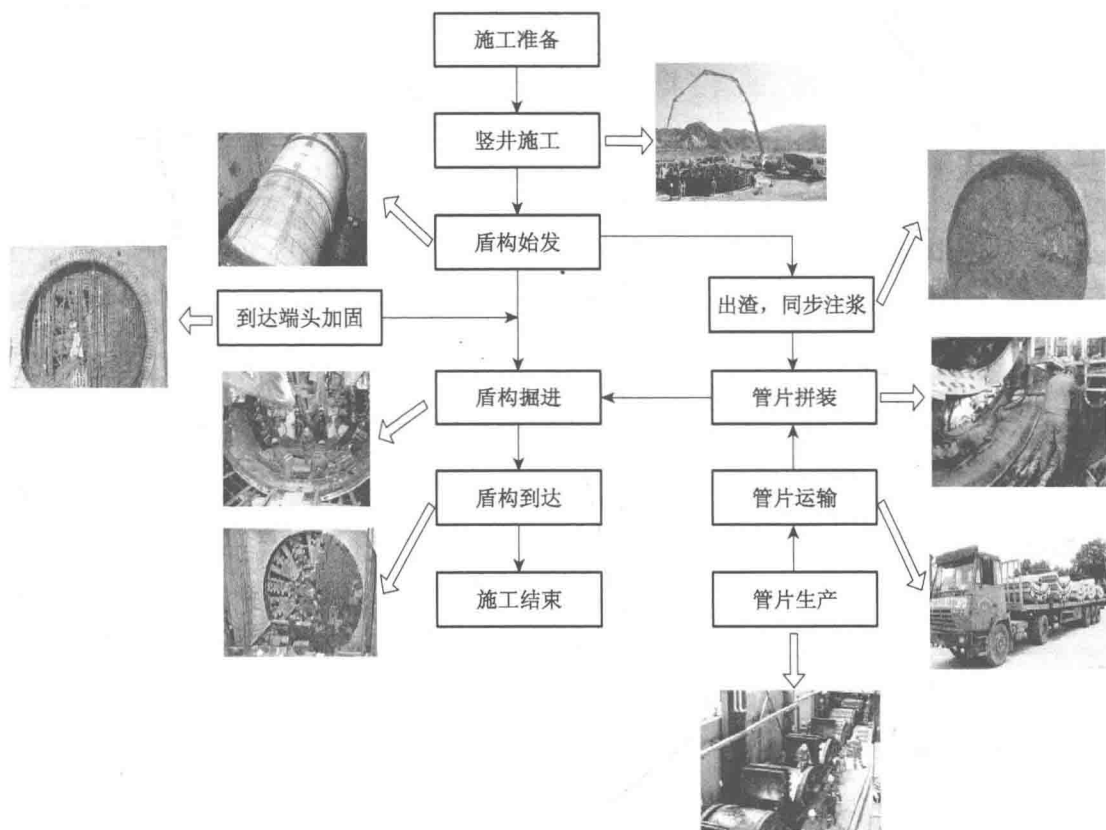


图 1-3 地铁盾构掘进法施工流程

地铁盾构法施工对地面建筑 and 环境影响比较小,施工无噪音、无振动、速度快、一次成洞、不受气候影响、基本不影响地面交通,开挖时可控制地面沉降,适用于隧洞洞线较长、埋深较大、不宜明挖的松散地层。但是盾构法施工精度要求高,对于盾构机选型、管片制作、管片选型、拼装、盾构掘进轴线控制都有严格的要求,在施工过程中只能单行前进、不可后退,具有很高的风险性。我国从 20 世纪 50 年代开始研究盾构法施工,1966 年我国上海打浦路过江隧道运用盾构法施工并投入运行。目前,盾构法施工在北京、天津、深圳、成都、武汉、南京等城市地铁施工过程中得到了广泛的应用,已成为一种重要的施工技术。由于地铁施工的复杂性,本书只选取上文 W4 盾构掘进法施工对其施工活动进行进一步分解。

2) 地铁盾构掘进法施工 WBS 分解

地铁盾构掘进法施工根据《盾构法隧道施工与验收规范》(GB 50446—2008)^[11]、《地铁隧道工程盾构法施工技术规程》(STB/DQ—010001—2007)^[12]、盾构法施工流程、施工特点分解为施工准备、竖井施工、盾构始发、盾构掘进、盾构到达、防排水、工程验收这 7 个主要施工活动,其中竖井施工、盾构始发、盾构掘进、盾构到达是盾构掘进法施工中重要的施工活动。表 1-2 对这 7 个施工活动进行了进一步分解。

表 1-2 地铁盾构掘进法施工活动 WBS 分解

施工活动一级分解	施工活动二级分解	施工活动三级分解
W4 盾构掘进法施工	W4.1 施工准备	W4.1.1 施工场地布置
		W4.1.2 临时房屋
		W4.1.3 运输便道
		W4.1.4 临时供水
		W4.1.5 临时供电
		W4.1.6 施工通信
	W4.2 竖井施工	W4.2.1 竖井开挖
		W4.2.2 围护结构施工
		W4.2.3 水准点设置
		W4.2.4 地面坐标、高程传递
		W4.2.5 贯通测量
	W4.3 盾构始发	W4.3.1 洞前土体加固
		W4.3.2 基座安装
		W4.3.3 组装架安装
		W4.3.4 反力架安装
		W4.3.5 拆除临时墙
	W4.4 盾构掘进	W4.4.1 盾构轴线控制
		W4.4.2 土方切削
		W4.4.3 排渣
		W4.4.4 注浆
		W4.4.5 管片生产、运输及拼装
		W4.4.6 二次衬砌
	W4.5 盾构到达	W4.5.1 洞前土体加固
		W4.5.2 基座安装
		W4.5.3 掘进控制
		W4.5.4 拆除临时墙
		W4.5.5 推上基座及洞门封堵
	W4.6 防排水	W4.6.1 防水
		W4.6.2 排水
	W4.7 工程验收	W4.7.1 资料验收
		W4.7.2 施工工程验收

3) 地铁盾构掘进法施工活动可监测信息分析

地铁盾构法施工过程中需要对施工活动的多项施工信息进行监测和分析,如盾构轴线控制施工活动中可以通过对盾构轴线偏移、千斤顶推力、千斤顶数量、千斤顶位置、推进速度等信息进行实时监测,并对监控的信息进行分析和响应,从而进行施工方案完善和整改,对这些可监测信息进行实时监控为施工活动的安全性提供了保证。地铁盾构掘进法施工活动可监测信息的分析对地铁施工安全风险识别具有重要的意义。

地铁盾构掘进法施工非常复杂,施工过程中的信息非常多,颜晓健构建了较为全面的地铁盾构施工风险预警指标体系^[13],在此基础上,本书根据科学性和操作性相结合、可比性、定量为主定性定量相结合、动静态相结合的原则^[14-15],去除工程验收部分,分析各项施工活动的可监测信息,分析结果如表 1-3 所示。

表 1-3 地铁盾构掘进法施工活动可监测信息

施工活动 一级分解	施工活动 二级分解	施工活动三级分解	可监测信息
W4 盾构掘进法施工	W4.1 施工准备	W4.1.1 施工场地布置	施工场地完备性
		W4.1.2 临时房屋	生产房屋安全性
			生活及办公用房安全性
		W4.1.3 运输便道	运输便道安全性
		W4.1.4 临时供水	生产、生活、消防用水量
			供水水压、供水管直径
		W4.1.5 临时供电	供电电压、功率
		W4.1.6 施工通信	通信信号
	W4.2 竖井施工	W4.2.1 竖井开挖	竖井平面尺寸、深度
			周边建筑裂缝、倾斜度
			离最近建筑距离
		W4.2.2 围护结构施工	围护结构合理性
			围护结构墙顶位移值、墙体最大位移值
			地面最大沉降值
	W4.3 盾构始发	W4.3.1 洞前土体加固	加固方法的合理性
			加固区域长、宽
			加固后土体抗压强度、渗透性
		W4.3.2 基座安装	构件位置偏差、安装精度
		W4.3.3 组装架安装	构件强度、稳定性系数、有害变形量
		W4.3.4 反力架安装	
		W4.3.5 拆除临时墙	洞口土体塌方量
			洞口涌水、渗水量

续 表

施工活动 一级分解	施工活动 二级分解	施工活动三级分解	可监测信息
W4 盾构掘进法施工	W4. 4 盾构掘进	W4. 4. 1 盾构轴线控制	盾构轴线偏移
			千斤顶推力、数量、位置
			推进速度
		W4. 4. 2 土方切削	开挖面稳定系数
			压力仓压力控制值
			刀具转速、扭矩
			刀头磨损量
			盾构自转角度
		W4. 4. 3 排渣	排土量
			添加剂注入率
			改良土砂的坍落度
		W4. 4. 4 注浆	注浆配合比
			浆液的流动性、强度、收缩率
			浆液胶凝时间、水密性
			注浆时间、方式、压力
			注浆量、漏浆量
		W4. 4. 5 管片生产、 运输及拼装	管片生产质量不合格率、运输破损率
			衬砌环直径椭圆度
			管片位置偏差
			相邻管片的径向错台、相邻环片环面错台
		W4. 4. 6 二次衬砌	模板平整度、强度、刚度
			模板位置安装偏离量、装后的稳定性
			混凝土配合比、强度
			衬砌厚度偏差
			养护时间
			表面平整度
			裂缝宽度
	W4. 5 盾构到达	W4. 5. 1 洞前土体加固	加固方法的合理性
			加固区域长、宽
			加固后土体渗透性
		W4. 5. 2 基座安装	基座位置偏差、强度、稳定性、有害变形量